Anisothermie in Quellhorizonten und ihre geologische Deutung

Von

Dr. Fritz Kerner-Marilaun

korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Vorgelegt in der Sitzung am 16. Juni 1932)

Die Bedingungen für Isothermie in Quellreihen erscheinen nur am Fuße stark zerklüfteten Kalkgebirges und am Rande homogener Schotterterrassen erfüllt. Bei Ausbildung getrennter Gerinne in weniger klüftigem Karstkalk kann es auch an Poljenrändern zu Quellzügen mit verschieden temperierten Ausläufen kommen. Einen bemerkenswerten solchen Fall machte ich vor vielen Jahren aus dem oberen Cetinatale bekannt. In Quellreihen am Fuße von Schotterterrassen kann Inhomogenität dieser Bildungen durch Einschaltung von Sand- und Lehmlinsen Anisothermie bedingen. Manchmal schließt sich Isothermie aus orographischen Gründen aus. In einem ziemlich steil ansteigenden Graben, welcher am Steinacherjoche (Brennergebiet) von Norden her in den flach über die Trias geschobenen und von oberkarbonischem Quarzkonglomerat flach überlagerten Quarzphyllit eindringt, folgt der Bach rechterseits dem unteren Rand einer Halde aus Blöcken der vorgenannten grobklastischen Bildung. Diesem Rande als dem Ausgehenden eines Kontaktes von durchlässigem mit undurchlässigem Felsboden entlang finden mehrere Wasseraustritte statt, von denen der unterste und oberste, die beide reiche Quellen sind, einen Höhenabstand von 210 *m* haben.

Es bestünde kein Zwang, dieser Quellreihe die Bezeichnung »Quellhorizont« zu versagen. Man wird nur feststellen, daß hier ein Fall vorliegt, in welchem der Gebrauch eines Wortes in übertragenem Sinne zu seiner Anwendung auf einen Sachverhalt führt, welcher dem ursprünglichen Wortsinne zuwiderläuft.

Die bei der Bezeichnung als »Horizont« zu einer solchen Unstimmigkeit keinen Anlaß bietende Quellreihe, deren auffällige Anisothermie im folgenden gezeigt werden soll. liegt der vorigen schief gegenüber auf der Nordseite des Gschnitztales zur Linken des Padasterbaches, kurz vor dessen Austritt in das Tal. Diese Reihe umfaßt vierzehn Glieder und zieht sich — nahe dem Bache beginnend in einer Erstreckung von schätzungsweise 66 *m* schluchtauswärts, wobei der Höhenunterschied ihrer Endglieder nur etwa 2·5 *m* beträgt.

Die 14 Glieder dieser Quellreihe habe ich von 1918 bis 1923 allsommerlich in ungefähr zweiwöchigen Intervallen gemessen. Als Termine wurden die Monatsmitten und Monatsenden gewählt, sie

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

konnten aber nicht genau eingehalten werden, weshalb — um volle Vergleichbarkeit zu erzielen — eine graphische Interpolation (beziehungsweise Extrapolation) der Werte für Juni 16, Juli 1, 16, 31, August 16, 31, September 15, 30, erfolgte. Die Messungen fanden mit zwei geprüften Kapeller'schen Quellenthermometern statt, deren Teilung in Fünftelgrade bei zirka 6 *mm* Gradlänge eben noch eine Ablesung von Fünfzigsteln zuließ. Bei Einzelmessungen können so kleine Wärmeunterschiede allerdings noch auf Rechnung vorübergehender meteorischer Einflüsse auf den Boden in der unmittelbaren Umgebung der Quelle kommen. Bei den Mittelwerten ist aber ohnedies eine Angabe auf Fünfzigstel nötig, um die Feinheiten des Wärmebildes nicht zu verwischen. Die gemessenen 14 Quellen sind durchwegs solche von wenigstens einigen Sekundenlitern sommerlicher Stärke; als ihre gegenseitigen Horizontal-(H) und Vertikalabstände (V) wurden schätzungsweise ermittelt:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
H	11·5	5	2·5	9	7	6·5	1	2	2	4·5	12	1·5	1·5	
V	+7	−2·5	+2	−0·5	−5	+4	+5·5	0	−5	−8·5	0	+1·5	− 1	

(Die Zahlen bedeuten Meter, die Vorzeichen beziehen sich auf den Höhenunterschied in der Richtung der Numerierung, das ist taleinwärts am Quellhange). Diese Höhenunterschiede sind — wenn auch einem »Quellhorizont« in engster Begriffsfassung kaum oder nicht mehr entsprechend, doch von der Art, daß man den Einfluß der Seehöhe vernachlässigen darf. Dasselbe läßt sich mit dem Einfluß der Exposition tun — alle 14 Quellen liegen im Oktanten SW bis S — so daß das ermittelte Wärmebild nur Strukturverschiedenheiten zum Ausdruck bringt. Die folgende Tabelle enthält die sechsjährigen Mittelwerte der Quellentemperaturen und ihres Durchschnitts.

1918 bis 1923	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.	Sommermittel
I	6·14	6·24	6·34	6·38	6·41	6·46	6·45	6·43	6·36
II	6·00	6·02	6·04	6·02	6·03	6·06	6·07	6·06	6·04
III	6·08	6·16	6·27	6·30	6·36	6·34	6·33	6·20	6·25
IV	5·85	5·90	5·98	6·01	6·02	6·03	6·04	6·02	5·98
V	5·91	5·97	6·07	6·11	6·15	6·12	6·14	6·10	6·07
VI	5·82	5·88	5·93	5·97	5·97	5·95	5·96	5·96	5·93
VII	5·58	5·65	5·72	5·76	5·80	5·81	5·86	5·84	5·76

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

1918 bis 1923	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.	Sommermittel
VIII	5·46	5·55	5·63	5·68	5·74	5·81	5·87	5·85	5·70
IX	5·66	5·84	5·92	5·87	5·95	6·01	6·03	5·97	5·91
X	5·35	5·46	5·55	5·60	5·69	5·73	5·79	5·76	5·62
XI	5·31	5·45	5·60	5·73	5·85	5·91	5·93	5·95	5·72
XII	5·22	5·41	5·61	5·81	5·95	6·02	6·03	6·04	5·76
XIII	5·21	5·40	5·61	5·82	5·96	6·04	6·03	6·04	5·76
XIV	5·30	5·48	5·67	5.90	6·06	6·13	6·12	6·10	5·84
Durchschnitt	5·63	5·74	5·85	5·93	6·00	6·03	6·05	6·02	5·91

Nur Nr. XII und XIII sind als getrennte Ausläufe eines Quellstranges zu erkennen. Alle anderen Nummern weichen in ihren Wärmegängen voneinander ab, doch so, daß man mehr zusammengehörige und mehr isoliert stehende Wärmekurven unterscheiden kann. Sehr gut kommen diese Verschiedenheiten im sommerlichen Wärmegange — wie die folgende Tabelle zeigt — in den Abweichungen vom Mittel des Horizonts zum Ausdruck.

1918 bis 1923	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.	Sommermittel
I	+51	+50	+49	+45	+41	+43	+40	+41	+45
II	+37	+28	+19	+09	+03	+03	+02	+04	+13
III	+45	+42	+42	+37	+36	+31	+28	+18	+34
IV	+22	+16	+13	+08	+02	00	—01	00	+07
V	+28	+23	+22	+18	+15	+09	+09	+08	+16
VI	+19	+14	+08	+04	—03	—08	—09	—06	+02
VII	—05	—09	—13	—17	—20	—22	—19	—18	—15
VIII	—17	—19	—22	—25	—26	—22	—18	—17	—21
IX	+03	+10	+07	—06	—05	—02	—02	—05	00
X	—28	—28	—30	—33	—31	—30	—26	—26	—29
XI	—32	—29	—25	—20	—15	—12	—12	—07	—19
XII	—41	—33	—24	—12	—05	—01	—02	+02	—15
XIII	—42	—34	—24	—11	—04	+01	—02	+02	—15
XIV	—33	—26	—18	—03	+06	+10	+07	+08	—07

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Nr. II, IV, V und VI bilden eine Gruppe von Quellen, deren Wärme dauernd auf einer dem Gesamtmittel nahe kommenden Höhe verweilt. Nr. II hebt sich unter ihnen durch fast volle Konstanz hervor. Nr. VII, VIII und X vereinen sich zu einer Quellgruppe, in welcher die Temperatur mäßig ansteigt, aber dauernd unter dem Gesamtmittel bleibt. Die unter sich übereinstimmenden Quellen XII und XIII verbinden sich mit XIV zu einer Gruppe mit starkem Wärmeanstieg, welcher bis zur Erreichung der Höhe des Gesamtmittels führt. Als Übergangsglied zwischen dieser und der vorigen Gruppe ist Nr. XI zu bewerten. Nr. I ist eine Quelle, deren Temperatur mäßig ansteigt und dauernd über dem Gesamtmittel steht. Quelle III nähert sich Nr. I, weicht aber von ihr und allen anderen durch starken Temperaturabfall von Mitte zu Ende September ab. Nr. IX steht durch ihre noch im sechsjährigen Mittel sich zeigende kleine Temperaturdepression um das Juliende vereinzelt. (Der Begriff »dauernd« bezieht sich im Vorigen auf den Beobachtungszeitraum, nicht auf das Jahr). Bildet man Mittelwerte für die drei unterschiedenen Gruppen und fügt Quelle I als alleinigen Vertreter einer vierten Gruppe hinzu, so ergeben sich folgende Typen von sommerlichen Wärmegängen:

Gruppenmittel	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
(II, IV, V, VI)	5·90	5·94	6·01	6·03	6·04	6·04	6·05	6·04
(I)	6·14	6·24	6·34	6·38	6·41	6·46	6·45	6·43
(VII, VIII, X)	5·46	5·55	5·63	5·68	5·74	5·78	5·84	5·82
(XII, XIII, XIV)	5·24	5·43	5·63	5·84	5·99	6·06	6·06	6·06

Die Erklärung für diese Verschiedenheiten liegt in der geologischen Sachlage. Die Quellreihe knüpft sich an das Durchstreichen einer Wandstufe von flachgelagertem Dolomit, welche der benachbarte Bach bloßgelegt hat und in einem hübschen zweistufigen Wasserfalle überwindet, während sie links (und rechts) vom Bache schuttverhüllt bleibt. Der als zerklüftetes Gestein durchlässige Dolomit spielt gegenüber dem mehr durchlässigen Schutte die Rolle des Wasserstauers. Die schuttbedeckte Oberseite der Dolomitstufe ist aber nicht als eine ebene Schichtfläche zu denken, sondern als eine von ungleich tief eingerissenen Runsten zerschnittene.

Nr. II, IV, V und VI erkennt man als Austritte von Quellsträngen, die aus weit im Innern entstandenen Wasseradern sich formend, in Furchen der Felsunterlage fließen und dann deren Schuttvorlage durchqueren. Nr. I ist als Austritt einer sich in ge-

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ringerem Abstand von der Oberfläche im Schutt auf dem Dolomit entwickelnden Wasserader zu deuten. Nr. VII, VIII und X sind als Ausbruchsorte von Wässern, welche in der Schuttausfüllung einer einspringenden Nische des Felsgrundes aus der Höhe herabkommen, zu betrachten. Die dem Wasserfalle benachbarten Quellen XII, XIII und XIV bringen den in der Bachrinne ober dem Fall unter dem obertags fließenden Wasser sich bewegenden Grundwasserstrang zutag. Von den beiden atypischen Nummern III und IX ist die erstere als eine Quelle zu deuten, welche durch sehr nahe unter der Oberfläche gelegene Wasseradern verstärkt wird, ohne jedoch in ihrer Gesamtheit ein nur wenig tief liegendes Sammelgebiet zu haben. Quelle IX ist das Ausfallstor eines in obertags trockener Rinne subterran fließenden Bächleins, das den oberflächlichsten Teil der aus der Höhe herabkommenden Quellwässer sammelt.

Man kann versuchen, die aufgezeigten Verschiedenheiten des Wärmeganges einer Elementaranalyse zu unterziehen.

Für die Temperatur der Quelle II ist bei der Geringfügigkeit ihrer Schwankung eine sehr verspätete Phasenzeit anzunehmen. Man wird vielleicht Ende Juli als Eintrittszeit ihres Mediums ansetzen können. Dann wäre

$$t = 6 \cdot 03 + 0 \cdot 06 \sin (165° + x)$$

und man hätte folgende Wiedergabe (t) der gemessenen Werte (t'):

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	5·99	6·00	6·02	6·03	6·04	6·06	6·07	6·08
t'	6·00	6·02	6·04	6·02	6·03	6·06	6·07	6·06

Bei den Quellen IV bis VI dürfte das Verharren der Wasserwärme von Ende Juli bis Ende September in ziemlich gleicher Höhe es begründen, den Scheitel der Temperaturkurve in die Mitte dieses Zeitraumes zu setzen. Quelle IV muß — weil sie gerade die Temperatur der fast konstanten Quelle II erreicht — um so viel höher wurzeln, als ihre halbe Jahresschwankung an Bodentemperaturabnahme mit der Höhe ausmacht. Dasselbe ist bei dem Mittel der drei Quellen IV bis VI der Fall und drückt sich elementaranalytisch in dem Hinzutreten eines dem Parameter gleichkommenden negativen konstanten Gliedes aus. Für dieses Dreiquellenmittel bekommt man so:

$$t = 6 \cdot 03 - 0 \cdot 23 + 0 \cdot 24 \sin (225 + x)$$

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Messungen werden wie folgt wiedergegeben:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	5·86	5·92	5·97	6·01	6·03	6·04	6·03	6·01
t'	5·86	5·92	5·99	6·03	6·04	6·03	6·04	6·03

Für das Mittel der Quellen IV und VI wird der Parameter 0·22, für die Quelle V wird er 0·34, für die Quelle VI erhält er den Wert 0·18.

Für die Kurve von I ergibt sich als ungefähre Schnittzeit mit der mittleren Bodenwärme in der Seehöhe des Quellhorizonts (Mitteltemperatur der nahezu konstanten Quelle II) der Termin Ende Mai. Man hat dann:

$$t = 6 \cdot 03 + 0 \cdot 43 \sin (225° + x)$$

und folgende Wiedergabe der Messungen:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	6·14	6·24	6·33	6·40	6·44	6·46	6·44	6·40
t'	6·14	6·24	6·34	6·38	6·41	6·46	6·45	6·43

Bei den kühlen Quellen VII, VIII und X ist es wegen ihrer geringen Schwankung wahrscheinlicher, daß sie Ende September am wärmsten sind als daß sie ihre Höchsttemperatur schon um Mitte dieses Monats erreichen. So ist bei ihnen die Temperatur um Ende Juni als Jahresmittel zu werten. Dann hat man:

$$t = 6 \cdot 03 — 0 \cdot 48 + 28 \sin (195° + x),$$

wobei die negative Konstante den Einfluß des höheren Ursprunges ausdrückt und besagen würde, daß die Durchschnittshöhe des Sammelgebietes dieser Quellen um etwa 90 *m* höher liege als das der Quelle II. Die Wiedergabe der gemessenen Werte gestaltet sich wie folgt:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	5·48	5·55	5·62	5·69	5·75	5·79	5·82	5·83
t'	5·46	5·55	5·63	5·68	5·74	5·78	5·84	5·82

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bei getrennter Bestimmung für die Quellen der Gruppe bekommt man in deren Reihenfolge für das negative Formelglied die Werte 0·38, 0·48, 0·57, für den Parameter die Werte 0·20, 0·30, 0·32.

Die dem Bache benachbarten Quellen bringen Grundwasser und Bachwasser zutage. Das erstere wird sich in thermischer Hinsicht den kühlen Quellen ähnlich verhalten. Es kommt zwar aus geringerer Höhe herab, weil das Gefälle der Bachschlucht weniger steil ist als das ihrer Hänge, aber es wird sich der Bodentemperatur in der Höhe des Quellhorizonts nicht schneller anschmiegen, weil es rascher fließt und mächtiger ist, als die von den Seiten herabkommenden Adern. Man kann den Gang des Bachgrundwassers etwa durch das Mittel (2×VIII+X) 3 darstellen. Es ist:

t'	5·42	5·52	5·60	5·66	5·72	5·78	5·84	5·82

Diesem Wärmegang entspricht der Ausdruck:

$$t = 6 \cdot 03 - 0 \cdot 51 + 0 \cdot 30 \sin (195° + x).$$

Die Schneidung der Kurve der bachnahen Quellen mit der der kühlen Quellen erfolgt um Mitte Juli. Diese Zeit entspricht dem Eintritt der Mittelwärme des Baches. Im Mai ist der Bach wegen der Schneeschmelze in den höheren Lagen noch kalt und am wasserreichsten. Das Maximum seiner abkühlenden Wirkung mag so auf das Ende dieses Monats fallen. Man wird auch kaum fehlgehen, wenn man annimmt, daß sich das Maximum der Bachwärme gegen das der Luftwärme um einen Monat verspätet und daß die stärkste Auswirkung desselben auf das Grundwasser um Ende August erfolgt.

Setzt man den einfachsten Fall eines gleich starken Anteils des Bachwassers und Grundwassers an der Temperatur der bachnahen Quellen, so ist (bei elementarer Betrachtung) der Parameter des doppelten Sinusgliedes, durch dessen eine Welle der sommerliche Gang der Bachtemperatur dargestellt wird, die Summe aus der um 5·60 verminderten Temperatur der bachnahen Quellen um Ende August (0·46) und ihrer Differenz gegen die gleichzeitige Temperatur der kühlen Quellen (0·28). Man hat dann (der Phasenwinkel des doppelten Sinusgliedes wird bei einem Minimum um Ende Mai = 0):

$$t = 6 \cdot 03 - 0 \cdot 43 + 0 \cdot 74 \sin 2x.$$

Der sommerliche Wärmegang der bachnahen Quellen stellt sich dann als arithmetischer Durchschnitt der beiden folgenden Temperaturreihen dar (G = Grundwasser, B = Bachwasser):

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
G	5·44	5·52	5·60	5·67	5·73	5·78	5·81	5·82
B	4·96	5·23	5·60	5·97	6·24	6·34	6·24	5·97

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bei der Doppelquelle XII und XIII würden dann die gemessenen Werte (t') in nachstehender Weise (t) wiedergegeben:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	5·20	5·38	5·60	5·82	5·98	6·06	6·03	5·90
t'	5·21	5·40	5·61	5·82	5·96	6·04	6·03	6·04

Das Versagen der Formel bei der Wiedergabe des Wertes für Ende September dürfte durch die um diese Zeit eintretende starke Verminderung der Bachstärke bedingt sein. Die elementare Darstellung von Temperaturgängen durch ein Sinusglied setzt das Vorliegen einer einfach periodischen Variablen voraus. Bei Bachtemperaturen spielt aber die Wassermenge sehr mit. Diese zeigt keinen periodischen Verlauf; sie schwillt zeitweise mächtig an und kann im Herbst unter Umständen rasch stark abnehmen. Sie ließe sich so auch durch ein zweites Sinusglied nicht voll erfassen. In einem Fall wie im vorliegenden wirkt sich das Einschrumpfen der Wassermenge in einer kleinen relativen Temperaturerhöhung aus, wenn der Einfluß der Erhitzung der nun großenteils trockenliegenden Steine im Bachbett bei Tag auf das zwischen ihnen nur mehr in dünnen Strähnen rieselnde Wasser durch die nächtliche Erkaltung nicht wettgemacht wird. Diese kleine Erhöhung kann sich mit dem solaren Temperaturabfalle zum Fortbestand der Herbstbeginntemperatur verbinden.

Quelle XI erweist sich als eine Mischung von drei Teilen Grundwasser mit einem Teile Bachwasser, weil sich ihr sommerlicher Wärmegang durch die entsprechende Kurvenüberlagerung darstellen läßt (t) wie folgender Vergleich mit den gemessenen Werten (t') zeigt:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	5·32	5·45	5·60	5·74	5·86	5·92	5·92	5·86
t'	5·31	5·45	5·60	5·73	5·85	5·91	5·93	5·95

Es ist so das Abklingen eines subterranen Zutrittes von Bachwasser mit von der Doppelquelle XII und XIII ab wachsendem Abstand vom Bache zu erkennen.

Der sommerliche Wärmegang der Quelle XIV wird dagegen wiedergegeben, wenn man sie als Mischung von einem Teil Bach-

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wasser mit einem Teil Grundwasser von etwas höherer (+0·16) Sommertemperatur, beziehungsweise von etwas tieferer mittlerer Lage des Sammelgebietes als dem der Doppelquelle auffaßt. Die Wiedergabe der gemessenen Werte (t') ist dann die folgende:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	5·28	5 46	5·68	5·90	6·07	6·14	6·11	5·98
t'	5·30	5·48	5·67	5·90	6·06	6·13	6·12	6·10

Bachwärts von der Doppelquelle findet sonach keine Verschiebung des Mischungsverhältnisses von Bachwasser zu Grundwasser zugunsten des ersteren statt.

Von der Auffassung einer Quelle als Mischung thermisch verschiedener Bodenwässer, wie sie bei der Darstellung der Sommertemperatur von XI bis XIV zur Geltung kam, läßt sich auch zwecks Analyse von III Gebrauch machen. Diese Quelle kann man als Mischung von drei Teilen nahe der Oberfläche sich sammelnden Wassers von der Thermik von I und einem Teil mehr aus dem Berginnern kommenden Wassers vom Typus IV bis VI auffassen. Das Ergebnis ist ungefähr dasselbe wie wenn man sie als zur Gänze etwas weniger oberflächlich als 1 wurzelnde Quelle von geringerer Amplitude betrachtet. Dann ist

$$t = 6 \cdot 03 + 0 \cdot 33 \sin (225° + x).$$

Die Wiedergabe der Messungen bleibt in beiden Fällen für Ende September mangelhaft; mit dem vorstehenden Ausdruck wie folgt:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	6·11	6·19	6·26	6·31	6·35	6·36	6·35	6·31
t'	6·08	6·16	6·27	6·30	6·36	6·34	6·33	6·20

Bei der Quelle IX mag die noch im sechsjährigen Mittel verbleibende Temperaturdepression um Ende Juli mit der abweichenden Genesis (siehe oben) in Beziehung stehen. Vermutlich bedingt der wohl schon auf einer längeren Strecke vor dem Ausfallstor sehr nahe unter der Oberfläche stattfindende Lauf ein Temperaturmaximum bald nach dem höchsten Sonnenstande; doch läßt sich durch bloße Auflagerung einer Welle mit Scheiteleintritt um Anfang oder Mitte Juli auf eine den Nachbarquellen analoge Hauptwelle eine Wieder-

gabe der gemessenen Werte nicht erzielen. (Ein Versuch, dieses Ziel durch mehrere Sinusglieder, denen nur rechnerische Bedeutung zukäme, zu erreichen, blieb außer Betracht.)

Für das Gesamtmittel der betrachteten Quellen ergibt sich als Ausdruck für die Bestimmung des sommerlichen Wärmeganges:

$$t = 6 \cdot 03 - 0 \cdot 40 + 0 \cdot 42 \ (\sin 210° + x).$$

Die Wiedergabe der Messungen gestaltet sich wie folgt:

	Juni		Juli		August		September	
	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende	Mitte	Ende
t	5·63	5·74	5·84	5·93	5·99	6·04	6·05	6·04
t'	5·63	5·74	5·85	5·93	6·00	6·03	6·05	6·02

Im ganzen Quellhorizont wird durchschnittlich die mittlere Bodentemperatur seiner Höhenlage (Frühsommertemperatur der fast konstanten Quelle II) im herbstlichen Wärmemaximum (Mitte September) erreicht. Dies entspricht den Verhältnissen in einer Bachschlucht mit steilen Schutthängen, wo das an diesen zutage tretende Wasser mehr von oben herab als von innen heraus kommt. Die hier durchgeführte analytische Studie erweist den Wert fortlaufender Temperaturmessungen von Quellen für die Erkenntnis der Strukturverhältnisse derselben.